

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-126168

(P2000-126168A)

(43) 公開日 平成12年5月9日 (2000. 5. 9)

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

キーワード (参考)

A 6 1 B 6/00

3 3 0

A 6 1 B 6/00

3 3 0 Z

4 C 0 9 3

3 5 0 Z

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願平10-300975

(22) 出願日

平成10年10月22日 (1998. 10. 22)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成10年5月14日～  
5月16日 日本エム・イー学会開催の「第37回日本エ  
ム・イー学会大会」において文書をもって発表

(71) 出願人

000003001

帝人株式会社

大阪府大阪市中央区南本町1丁目6番7号

(72) 発明者

大松 浩一郎

東京都港区六本木1丁目1番1号 テレビ  
朝日内

(72) 発明者

長瀬 歩

東京都文京区本郷7丁目3番1号 東京大  
学工学部計数工学科内

(74) 代理人

100077263

弁理士 前田 純博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 骨画像処理方法及び骨強度評価方法

(57) 【要約】

【課題】 骨密度測定よりも、骨強度をよく反映する指  
標の計測方法及びそれを用いた骨強度評価方法を提供す  
る。

【解決手段】 被検骨の連続断面構造を画像化する手段  
を用いて得られた画像を画像処理装置に入力し、画像中  
の骨を皮質骨領域・骨梁領域に分離した後、皮質骨体  
積、最大連続骨梁成分体積、骨梁辺数、空洞数を計算す  
る、骨の破断力、最大荷重、軸変位、靱性、最大弾性力  
を指標とする骨強度評価方法。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 骨梁構造が確認できる解像度で撮影された骨の2値化断面画像において、画像の端を始点として画像の内側に向かってラスタ走査線を伸ばし、該走査線が骨領域に当たった点を頂点、該走査線軸を高さ方向とする二等辺三角形を選択し、該二等辺三角形の底辺が骨領域中に描ける最大の二等辺三角形を特定し、該二等辺三角形の底辺からラスタ走査線の始点方向に対して走査し抽出する骨領域を皮質骨領域と決定し、該領域内に骨画像の要素があれば該要素部分を皮質骨領域とする処理を画像全体に対して繰り返すことで、骨画像を皮質骨領域と骨梁領域に分離する骨画像処理方法。

【請求項2】 骨梁構造が確認できる解像度で撮影された骨の2値化連続横断面画像複数枚を入力画像群とし、各画像について請求項1記載の方法を用いて皮質骨領域のみを抽出し、該皮質骨領域を3次的に連結することによって皮質骨体積を求めることを特徴とする骨強度評価方法。

【請求項3】 骨梁構造が確認できる解像度で撮影された骨の2値化連続横断面画像複数枚を入力画像群とし、各画像について請求項1記載の方法を用いて骨梁領域のみを抽出し、該骨梁領域を3次的に連結することにより骨梁成分体積を求め、その中で最も大きい骨梁成分体積（最大連結骨梁成分体積）を求めることを特徴とする骨強度評価方法。

【請求項4】 骨梁構造が確認できる解像度で撮影された骨の2値化連続横断面画像複数枚を入力画像群とし、各画像について請求項1記載の方法を用いて骨梁領域のみを抽出し、該骨梁領域を3次的に連結することにより求めた骨梁領域成分を3次元細線化処理を行い、該細線化画像から骨梁の辺数を求めることを特徴とする骨強度評価方法。

【請求項5】 骨梁構造が確認できる解像度で撮影された骨の2値化連続横断面画像複数枚を入力画像群とし、各画像について請求項1記載の方法を用いて骨梁領域のみを抽出し、該骨梁領域を3次的に連結した骨梁領域成分の3次元細線化処理を行い、該細線化画像の中の空洞の数を求めることを特徴とする骨強度評価方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、骨画像処理方法および骨強度評価方法に関するものである。さらに詳細には、本発明は被検骨の連続断面構造を画像化する手段を用いて得られた画像を画像処理装置に入力し、画像中の骨を皮質骨領域と骨梁領域に分離した後、皮質骨体積、最大連結骨梁成分体積、骨梁辺数、空洞数を計算することによって骨強度を正確に評価する方法を提供するものである。

【0002】

【従来の技術】骨強度は骨量と骨質により規定されてお

り、生体骨では骨量により骨強度の約80%を評価することができると言われている。非侵襲的に骨量、すなわち骨塩量を定量化する方法として、従来よりMD (Micro Densitometry) 法、DIP (Digital Image Processing) 法などの単純X線フィルムを利用する方法があるが、この方法は筋肉や臓器などの影響の大きい躯幹骨には適用できず、手指などの末梢骨への適用に限られている。次にDPA (Dual Photon Absorptiometry) 法が出現し、腰椎の骨塩量が測定されるようになったが、DPA法は核種の取扱いや管理区域の問題および精度の低さなどにより普及するには至らなかった。核種の代わりにX線を用いるものとしてDXA (Dual-energy X-ray Absorptiometry) 法の登場に至り、現在ではDXA法が骨塩定量の一般的手法として用いられている。

【0003】以上のような手法を用いて骨密度 (BMD = Bone Mineral Density) を測定することで骨の評価が行われているが、同程度の骨密度であっても骨折する場合としない場合があり、近年では骨梁構造をはじめとする骨質評価も重要とされている。

【0004】そこで様々な骨質評価のための画像解析手法が提案されている。しかし、StarVolume法、Run Length法、Fractal解析法などの従来の骨質評価方法は主に2次元骨断面画像を対象としているため、測定部位によって評価結果が著しく異なる場合がある。また骨折を想定した場合、必要となるべき撮像平面に垂直な方向に対する考察がほとんど行われていない。

【0005】さらに、骨断面画像の骨領域を皮質骨領域、骨梁領域に自動的に分離するための好適な方法は無く、画像処理技術で分離したとしても骨梁領域の一部を皮質骨領域と誤認識する場合があり、画像毎に手作業による修正が必要であるものが大半である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、非破壊的かつ微視的に被検骨の内部構造を観察し、画像処理技術によって自動的に皮質骨領域と骨梁領域を分離し、骨密度よりも骨強度をよく反映する指標及び該指標を計測する方法を見出すことを目的としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、かかる目的を達成するために鋭意研究した結果、骨梁構造を十分に確認可能である微小フォーカスX線断層写真撮影装置によって撮影された被検骨の連続横断面画像複数枚を入力画像群とし、各種画像処理を3次的に施すことによって、従来より使用されてきた骨密度よりも骨強度と相関性の高い各指標を計測できることを見出し本発明に到達した。

【0008】すなわち本発明は、被検骨の関心領域の連続横断面画像を微小フォーカスX線断層写真撮影装置等によって撮影し、それらの画像を2値化して骨部のみを抽出し、骨梁構造が確認できる解像度で撮影された骨の

2 値化断面画像を作成し、該画像の端を始点として画像の内側に向かってラスタ-走査線を伸ばし、該走査線が骨領域に当たった点を頂点、該走査線軸を高さ方向とする二等辺三角形を選択し、該二等辺三角形の底辺が骨領域中に描ける最大の二等辺三角形を特定し、該二等辺三角形の底辺からラスタ-走査線の始点方向に対して走査し抽出する骨領域を皮質骨領域と決定し、該領域内に骨画像の要素があれば該要素部分を皮質骨領域とする処理を画像全体に対して繰り返すことで、骨画像を皮質骨領域と骨梁領域に分離する骨画像処理方法を提供するものである。

【0009】また、本発明は、骨梁構造が確認できる解像度で撮影された骨の2 値化連続横断面画像複数枚を入力画像群とし、各画像について上記方法を用いて皮質骨領域のみを抽出し、該皮質骨領域を3 次元的に連結することによって皮質骨体積を求めることを特徴とする骨強度評価方法、特にその指標の1 つである破断力、最大荷重を評価する方法を提供するものである。

【0010】また、本発明は、骨梁構造が確認できる解像度で撮影された骨の2 値化連続横断面画像複数枚を入力画像群とし、各画像について上記方法を用いて骨梁領域のみを抽出し、該骨梁領域を3 次元的に連結することにより骨梁成分体積を求め、その中で最も大きい骨梁成分体積（最大連結骨梁成分体積）を求めることを特徴とする骨強度評価方法、特に骨強度を反映する指標の1 つである軸変位を評価する方法を提供するものである。

【0011】また、本発明は、骨梁構造が確認できる解像度で撮影された骨の2 値化連続横断面画像複数枚を入力画像群とし、各画像について上記方法を用いて骨梁領域のみを抽出し、該骨梁領域を3 次元的に連結することにより求めた骨梁領域成分を3 次元細線化処理を行い、該細線化画像から骨梁の辺数を求めることを特徴とする骨強度評価方法、特に骨強度を反映する指標の1 つである靱性を評価する方法を提供するものである。

【0012】更に、本発明は、骨梁構造が確認できる解像度で撮影された骨の2 値化連続横断面画像複数枚を入力画像群とし、各画像について上記方法を用いて骨梁領域のみを抽出し、該骨梁領域を3 次元的に連結した骨梁領域成分の3 次元細線化処理を行い、該細線化画像の中の卵殻のような構造物として現れる空洞数を求めることを特徴とする骨強度評価方法、骨強度を反映する指標の1 つである最大弾性力を評価する方法を提供するものである。

【0013】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の骨強度評価方法の好ましい態様例を示す。本実施例においては実験用ラットの腰椎部分の骨強度を評価することを目的としたが、人を含め他動物、他部位の骨についても容易に応用可能である。

【0014】まず、実験用の正常ラット（Shamモデル）

5 体、骨粗鬆症ラット（OVXモデル）5 体を準備し、それぞれの第3 腰椎部（L3）の微小フォーカスX線CT撮影装置によって、1 体あたり連続30 断面、計300 枚を以下の条件で撮影した。

・解像度：25.8  $\mu\text{m}/\text{pixel}$

・スライス厚み：20.7  $\mu\text{m}$

【0015】尚、OVXモデルとは、左右のうち片側若しくは両側の卵巣を摘出した動物モデルのことをいう。このOVXモデルは原発性閉経後骨粗鬆症のモデルとしてよく実験に使用される。OVXモデルに対するShamモデルとは、卵巣摘出手術による影響を除外するために、OVXモデル動物と同一の手術を施すが、卵巣は摘出しない群を指す。

【0016】本発明における皮質骨領域、骨梁領域の分離には、画像の2 値化が必要となる。今回は大津の判別分析法の結果をもとに閾値を決定し2 値化を行ったが、画像の2 値化の手法は、他にも様々な手法が知られている。

【0017】2 値化した健常ラット腰椎の微小フォーカスX線CT画像の一例を図1に、2 値化画像を皮質骨領域、骨梁領域を分離するアルゴリズムのフローチャートを図2に示す。

【0018】図2に記載の「ラスタ-走査の始点の設定」においては、図3に示す始点に属する全画素をラスタ-走査開始する始点として順次定義し、ラスタ-走査の方向の決定を行う。

【0019】図2および図3に記載の「3 等分線」とは、骨の2 次モーメント軸を水平軸としたときの、その骨の最左端（図4中の最左波線）と最右端（図4中の最右波線）の距離を3 等分する線のことである。

【0020】画像の中で骨の外側の輪郭が凸エッジのみを有している時には、画像端点からのスキャンによって皮質骨領域、骨梁領域の分離が可能であるが、本実施例において使用したラット腰椎の画像には凹のエッジも存在するため、突起状の骨領域の影に当たる領域には、画像端点からのスキャンだけではスキャン線が到達せず、皮質骨領域、骨梁領域を完全に分離することはできない。したがって、上述の3 等分線を設定し利用して骨画像を分割して処理することによって、凹のエッジを持つラット腰椎の画像においても皮質骨領域、骨梁領域の分離を可能となる。

【0021】また、図2に記載の「ラスタ-走査&塗り潰し」では以下の処理を行う。

① 始点からラスタ-走査線を伸ばす。

② ラスタ-走査線が骨領域に当たれば、その点を頂点とし、走査線軸を高さとする二等辺三角形を設定し、頂角を一定として骨領域中に描ける面積最大の二等辺三角形を特定する。設定する二等辺三角形は、頂角が60°以下であることが好ましく、中でも頂角が20°～60°の範囲の二等辺三角形が分析精度の点から好ましい。本

実施例では、底辺：高さ＝1：2の二等辺三角形を設定した。

③ 特定した二等辺三角形の底辺から、ラスタ走査の始点方向に向けて逆に走査し、そこで選ばれた骨領域を皮質骨領域として決定し、その領域内に骨画像の要素があれば塗り潰す。

【0022】すなわち、このアルゴリズムはラスタ走査線が画像中の骨領域に入ってから背景領域に抜けるまでを皮質骨領域とする考え方を元としている。補正を全く行わない従来手法を用いた場合、ラスタ走査線は皮質骨から骨梁領域へと進んでしまい、骨梁領域も皮質骨領域であると誤認する場合がある。

【0023】これを避ける方法として本発明においては、図5に示すように、ラスタ走査線が骨領域に入った位置からその走査幅を広げていき、最終的には面積最大の二等辺三角形を描き、塗り潰し領域を設定することとした。この処理による塗り潰しが終了すれば、塗り潰された骨領域を皮質骨領域、塗り潰されなかった骨領域を骨梁領域として分離することができる。

【0024】図6に図1の画像から分離された皮質骨領域の画像を示す。

【0025】次に、上述の画像処理を入力画像群である被検骨の連続横断面画像群全部に対して行い、各々の画像を重ね合わせるにより3次元的に連結した皮質骨領域を作成し、1 [voxel] が表す単位体積 [mm<sup>3</sup>/voxel] を元にして、各被検骨に対して皮質骨体積 [mm<sup>3</sup>] を導出した。

【0026】続いて3次元的に連結した骨梁領域を抽出する方法について述べる。

【0027】大域的な視点から見ると、骨梁は大きな1つの連結成分として考えられる。しかし、有限枚のCT画像に写り込んだ空間的に限定された領域での骨梁を考えると、それぞれは幾つかの独立した連結成分から成る。従って複数枚の2次元骨梁画像からは複数個の3次元的に連結した骨梁成分が抽出されることになる。

【0028】3次元的に連結した骨梁成分を抽出するためには、n枚の連続した画像に対して3次元のラベリング処理が必要になる。本実施例において使用したラベリング処理は以下のように行い、そのフローチャートを図7に示す。

【0029】①2値化画像から骨梁領域部分のみを取り出した画像群を入力画像群とし、該画像群すべてに対してラベリング処理を実施する。

②連続するラベル画像n枚のうち、k (1 ≤ k < n) 枚目の画像とk+1枚目の画像について、骨梁領域の上下対応に従って再ラベリング処理を実施する。

【0030】③k=1の場合：k ← k+1して②へ戻る。

k=n-1の場合：k枚目より前に処理した画像に対して、k枚目の結果に従って再ラベリング処理を実施し、

処理を終了する。

それ以外の場合：k枚目より前に処理した画像に対しても、k枚目の結果に従って再ラベリング処理を実施し、k ← k+1して②へ戻る。

【0031】尚、図7に記載の「上下対応を調べる」とは、隣接する2枚の画像を見て、画像間で重なるpixelが1つでもある骨梁領域があるかどうかを調べることであり、重なるpixelがあれば上下対応があるとみなす。

【0032】即ちk枚目の画像がa<sub>0</sub>からa<sub>n</sub>のラベル領域を持ち、k+1枚目の画像がb<sub>0</sub>からb<sub>m</sub>のラベル領域を持ち、例えば図8に示したように各ラベル領域に上下対応があるとすると、

【0033】図8での上下対応をわかりやすく行列で書くと、図9のようになる。

【0034】上下対応のあるラベル領域間を示す個所を○で示す。このとき以下のような事項が成り立つ。

①同じ行又は同じ列に○がある場合、それは3次元的に同一の領域になる。

②同じ列に○がない場合、その領域はk+1枚目以降に3次元的連結はない。

③同じ行に○がない場合、その領域はk+1枚目から初めて3次元的連結が始まる。

【0035】この条件にしたがって最初のラベル番号を1として順次再ラベリングすると、図10のような行列を作成できる。ここで図9中のa<sub>3</sub>には同じ列には○が存在せず、a<sub>3</sub>で示された領域はk+1枚目以降に3次元的連結がないことを示しているの、a<sub>3</sub>には十分に大きなラベル値を与える。また図9中のb<sub>3</sub>には同じ行に○が存在せず、b<sub>3</sub>で示された領域はk+1枚目以降から初めて3次元的連結が始まることを示しているの、b<sub>3</sub>には新しい領域を示すラベル値を与える。以上のラベリング処理を実施すれば、図8は図11のように描くことができる。

【0036】ただし、k枚目の再ラベリング処理によって、k枚目とk-1枚目以前の画像との間にはラベルの対応がなくなってしまう。したがって、k枚目のラベリング処理結果に従い、aのラベル値の変化はk-1枚目以前のラベリング処理済画像でのラベルにも反映させる。そして該処理を行った後、bのラベル値に従い、k+1枚目以降の画像を順次ラベリング処理していく。この処理をn枚の連続骨断面画像全体に適用することで、3次元ラベリング処理が完了する。

【0037】更に詳細に説明すると、例えば、K枚目の画像中には骨梁成分が5つあったとする。その時、それぞれの骨梁成分に[1], [2], [3], [4], [5]というラベル番号を割り振る。その後、K+1枚目の画像を調べる。K+1枚目の画像中には骨梁成分が6つあるとする。

【0038】6つある骨梁成分のうち5つが、K枚目の画像で[1], [2], [3], [4], [5]とラベル番号を付けられた骨梁成分と上下対応があるならば、K+1枚目の画像

中の骨梁成分のうち5つには[1]～[5]の番号を付けることができ、K枚目の画像との上下対応が認められなかった骨梁成分には、新しく[6]というラベル番号を与える。

【0039】続いて、K+2枚目の画像を調べる。K+2枚目の画像には4つしか骨梁成分がなかったとする。K+1枚目とK+2枚目の骨梁成分の上下対応を調べたところ、K+1枚目の画像で[1]とラベル番号が付けられていた骨梁成分はK+2枚目の骨梁成分のどの骨梁成分とも上下対応がなかった場合、K+1枚目まで[1]とラベル番号が付けられていた骨梁成分はK+2枚目以降の画像には現れてこないとして、十分に大きなラベル番号（ここでは[100]と再ラベリングします）を与える。今まで[1]というラベル番号をもった骨梁成分のラベル番号がK+1枚目の画像で[100]となったわけであるから、K枚目以前の画像に関しても、[1]というラベル番号は全て[100]と再ラベリングする。

【0040】次にK+1枚目まで[2]、[3]となっていた骨梁成分をK+2枚目との間で調べた結果、[2]、[3]の骨梁成分がK+2枚目の画像中の骨梁成分1つと上下対応があったとする。その場合、今まで[2]、[3]と別々の骨梁成分であったと認識されていた骨梁同士が、実は連結していたとわかる。そこで、K+2枚目の画像中での該骨梁成分には[2]というラベル番号を与え、K+1枚目以前の画像中で[3]となっていた骨梁成分のラベル番号を[2]と再ラベリングしていく。

【0041】K+2枚目の画像中にある残り3つの骨梁成分のいずれもK+1枚目の画像中での骨梁成分と上下対応が取れなかった場合、それぞれに[7]、[8]、[9]というラベル番号を与える。上の処理の結果、K枚目の画像の骨梁成分のラベル番号は、[100]、[2]、[2]、[4]、[5]、K+1枚目の画像の骨梁成分のラベル番号は、[100]、[2]、[2]、[4]、[5]、[6]、K+2枚目の画像の骨梁成分のラベル番号は、[2]、[7]、[8]、[9]となる。以上のような処理を延々と画像全体に繰り返す。

【0042】上で示した処理方法を適用し、3次元ラベリング処理によって得られた3次元連結骨梁成分の一例を図12、13、14に示す。図12は得られた3次元連結骨梁成分全体を示し、図13は図12中のregion Aで示された3次元連結骨梁成分を、図14は図12中のregion Bで示された3次元連結骨梁成分を示したものである。

【0043】3次元的に連結した骨梁領域を作成後、1 [voxel]が表す単位体積[mm<sup>3</sup>/voxel]を元にして皮質骨体積を導出したときと同様、3次元的に連結した骨梁領域成分それぞれについての体積を導出した。その上で各被検骨について体積が最大である3次元連結骨梁成分

を求め、それらを各被検骨に関する最大連結骨梁成分体積 [mm<sup>3</sup>]とした。

【0044】続いて、3次元的に連結した骨梁の辺数を求める方法について述べる。

【0045】まず、骨梁構造の解析を容易にするため、上述の方法で得られた3次元連結骨梁成分に対して3次元細線化の処理を施した。3次元細線化とは、3次元空間において、厚さ、あるいは太さのある図形を3次元線図形に変換する処理のことであり、該3次元線図形では、分岐、交差、空洞などの特殊な場所を除いて太さは1であり、かつ、端点以外には消去可能な画素を含まない。該3次元線図形は、元の図形の3次元スケルトンと呼ぶ。

【0046】3次元細線化の方法は従来より様々な方法が知られており、本発明においては「安江正宏他、3次元濃淡画像の細線化法と医用画像への応用における能力の比較評価、電子情報通信学会論文誌、第J79-D-11巻、pp.1664-1674、1996」記載の方法を用いて3次元連結骨梁成分の3次元細線化処理を実施した。3次元細線化処理後の画像の一例を、図15に示す。

【0047】各被検骨の連続横断面画像群から得られた骨梁成分の3次元スケルトンを3次元グラフとして考えると、骨梁構造に含まれる端点、辺、分岐点などの情報が所得可能になる。すなわち、辺数を求めるためには、3次元スケルトン内で、頂点から頂点までの距離が1以上の辺を数えあげればよい。そこで該処理を各被検骨について実施し、各被検骨の骨梁の辺数を求めた。

【0048】続いて、3次元連結骨梁成分の3次元スケルトン内に現れる空洞数を求める方法について述べる。

【0049】複数枚の骨の横断面画像群から3次元画像を生成し、さらに3次元細線化処理を行って3次元スケルトンを得ると、該3次元スケルトン内に卵の殻のような構造物が現れる。該構造物は2次元画像処理では現れず、3次元画像処理で初めて現れるものであり、空洞と呼ばれる。

【0050】実際に空洞数を求めるために行った処理を以下に述べる。

- ① 前述の方法により、各被検骨の3次元連結骨梁成分の3次元スケルトンを獲得する。
- ② 得られたスケルトンから、辺、すなわち頂点から頂点までの距離が1より大きい線分を消去する。
- ③ ②の処理により空洞のみが残るため、該空洞の個数をカウントし、空洞数とする。

【0051】該処理を各被検骨について実施し、各被検骨の空洞数を求めた。

【0052】以上に示した方法によって、各被検骨に対して、皮質骨体積、最大連結骨梁成分体積、骨梁辺数、空洞数の4つの指標を求めた結果を図16に示す。

【0053】上で求めた4つの指標を、最も一般的な骨質評価指標として使用されている骨密度（BMD）と比

較するため、被検骨である実験用ラット10体の第3腰椎部（本実施例において、本発明による4つの指標を導出した被検骨と同一の骨）全てに対して、骨密度の測定を行った。測定装置はHologic社製QDR-2000を用い、DXA法により測定した。骨密度の測定結果は、Sham群の平均が1となるように正規化し、OVX群も該結果に合わせて計算することで相対骨密度として導出した。測定結果を図17に示す。

【0054】続いて、実験用ラット10体の第4腰椎部に対し、骨強度の測定を圧縮試験によって実施した。圧縮試験時、各腰椎は歯科用レジンに埋め込み固定し、図18のように骨梁構造の最も発達している部分をハッチング部に設定し、変位速度6 [mm/min] にて負荷を加えていくことで、骨強度を反映する指標である破断力、最大荷重、軸変位、靱性、最大弾性力の5種類の指標を測定した。破断力 [N] とは、被試験体が破断した時に加わっていた負荷のことであり、最大荷重 [N] とは、破断までに加えられた最大負荷のことである。また、軸変位 [mm] とは、被試験体に負荷を加えはじめてから破断する間に被試験体が変形した量のことであり、靱性 [N・mm] とは、破断するまでに被試験体に負荷されたエネルギーのことである。さらに最大弾性力 [N/mm] とは、剛性、堅さ、曲がり難さ等を示すものであり、以上5種類の指標の説明を図19に示す。また、Sham群の平均が1となるように正規化し、OVX群も該結果に合わせて計算することで相対骨強度として導出した圧縮試験の結果を図20に示す。

【0055】次に、本発明により導出される皮質骨体積、最大連結骨梁成分体積、骨梁辺数、空洞数と、上の圧縮試験にて得られた破断力、最大荷重、軸変位、靱性、最大弾性力との相関を調べた。同様に、従来より骨評価の指標として使用されてきた骨密度 (BMD) と、圧縮試験にて得られた破断力、最大荷重、軸変位、靱性、最大弾性力との相関も調べた。

【0056】結果、皮質骨体積は破断力、最大荷重と、最大連結骨梁成分体積は軸変位と、骨梁辺数は靱性と、空洞数は最大弾性力と相関が高いことがわかった。相関係数の計算結果を図21に示す。同様に骨密度と破断力、最大荷重、軸変位、靱性、最大弾性力との相関係数の計算結果も図21中に同時に示してある。参考として破断力-皮質骨体積の相関図を図22、破断力-骨密度の相関図を図23、最大荷重-皮質骨体積の相関図を図24、最大荷重-骨密度の相関図を図25、軸変位-最大連結骨梁成分体積の相関図を図26、軸変位-骨密度の相関図を図27、靱性-骨梁辺数の相関図を図28、

靱性-骨密度の相関図を図29、最大弾性力-空洞数の相関図を図30、最大弾性力-骨密度の相関図を図31に示す。

【0057】図21より、本発明による4つの指標、すなわち皮質骨体積、最大連結骨梁成分体積、骨梁辺数、空洞数は、従来使用されてきた骨密度 (BMD) よりも骨強度を反映する指標 (破断力、最大荷重、軸変位、靱性、最大弾性力) との相関が高く、より精度の高い評価ができると言える。

【図面の簡単な説明】

【図1】 健康ラット腰椎の微小フォーカスX線CT画像 (2値化後) の一例。

【図2】 皮質骨領域、骨梁領域分離アルゴリズムのフローチャート。

【図3】 ラスター走査のパターン。

【図4】 ラスター走査の始点、方向。

【図5】 皮質骨塗り潰し領域の決定方法。

【図6】 分離された皮質骨領域画像の一例。

【図7】 3次元ラベリングのフローチャート。

【図8】 各ラベル領域の上下対応。

【図9】 各ラベル領域の上下対応表。

【図10】 各ラベル領域の上下対応表 (ラベリング処理後)。

【図11】 3次元連結成分のラベリング。

【図12】 3次元連結骨梁成分の一例。

【図13】 3次元連結骨梁成分 (region A)。

【図14】 3次元連結骨梁成分 (region B)。

【図15】 3次元連結骨梁成分のスケルトンの一例。

【図16】 本発明による指標の測定結果。

【図17】 相対骨密度の測定結果。

【図18】 圧縮試験時のハッチング部分。

【図19】 骨強度を反映する指標5種類の位置づけ。

【図20】 圧縮試験の結果。

【図21】 相関係数計算結果。

【図22】 破断力-皮質骨体積の相関図。

【図23】 破断力-骨密度の相関図。

【図24】 最大荷重-皮質骨体積の相関図。

【図25】 最大荷重-骨密度の相関図。

【図26】 軸変位-最大連結骨梁成分体積の相関図。

【図27】 軸変位-骨密度の相関図。

【図28】 靱性-骨梁辺数の相関図。

【図29】 靱性-骨密度の相関図。

【図30】 最大弾性力-空洞数の相関図。

【図31】 最大弾性力-骨密度の相関図。

```

graph TD
    A[画像の2値化] --> B[3等分線の設定]
    B --> C[ラスタ一走査の始点の設定]
    C --> D{すべての始点から  
ラスタ一走査終了?}
    D -- NO --> E[ラスタ一走査  
& 塗り潰し]
    E --> C
    D -- YES --> F{全面像に対して  
処理終了?}
    F -- NO --> C
    F -- YES --> G[処理終了]
  
```

```

graph TD
    Start([すべての画像に対して  
2次元ラベリング]) --> LoopStart((k 枚目と k+1 枚目の上下対応  
にしたがって再ラベリング))
    LoopStart --> Decision1{k = 1 ?}
    Decision1 -- YES --> Dec1Label{k = k + 1}
    Dec1Label --> LoopStart
    Decision1 -- NO --> Process[k 枚目のラベル変化を  
処理済み画像に反映]
    Process --> Decision2{k = n - 1 ?}
    Decision2 -- YES --> End([処理終了])
    Decision2 -- NO --> Dec2Label{k = k + 1}
    Dec2Label --> LoopStart
  
```

【图 3】

	始点	マスター走査方向
①	画像の右端	画像の中心方向
②	画像の上端	画像の中心方向
③	画像の左端	画像の中心方向
④	画像の下端	画像の中心方向
⑤	3等分線左(図4の実線)	画像の右端方向
⑥	3等分線右(図4の実線)	画像の左端方向

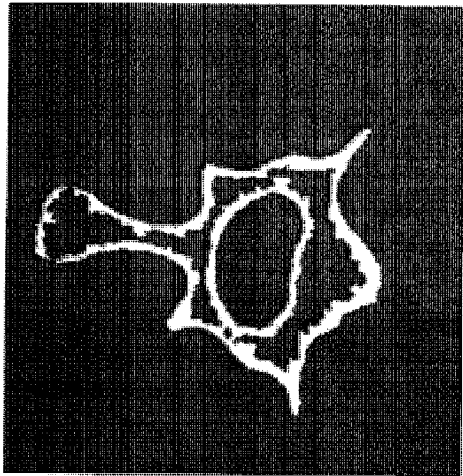
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$\dots$	$a_n$
$b_0$	○						
$b_1$							○
$b_2$		○			○		
$b_3$							
$b_4$	○				○		
$\vdots$							
$b_n$			○				

【例 10】

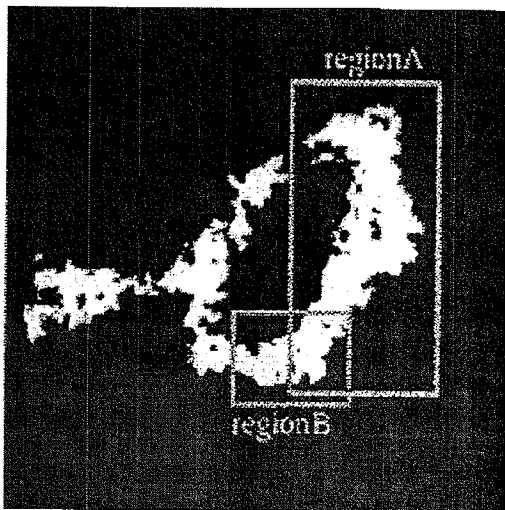
群	动物序号	相对骨密度
Sham	s1	0.971
	s2	0.969
	s3	1.041
	s4	1.005
	s5	1.014
OVX	o1	0.744
	o2	0.830
	o3	0.482
	o4	0.755
	o5	0.594

[illegible]

【図6】



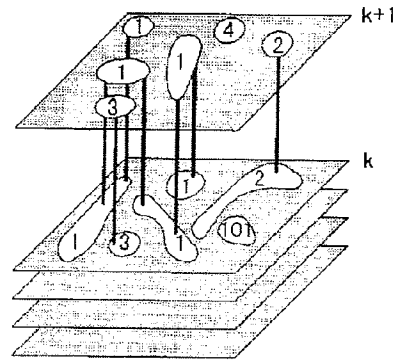
【図12】



【図16】

群	動物番号	最大連結成分			
		皮質骨体積	成分体積	骨梁辺数	空隙数
Sham	s1	6.192	1.385	2857	2
	s2	6.204	1.010	3917	3
	s3	6.085	1.589	3803	4
	u1	6.670	0.888	2904	2
	u5	6.182	1.168	2480	8
OVX	o1	5.102	1.452	2728	0
	o2	5.218	1.456	2685	1
	o3	4.888	0.484	1535	0
	o4	4.846	1.203	2530	0
	o5	4.644	1.112	1654	0

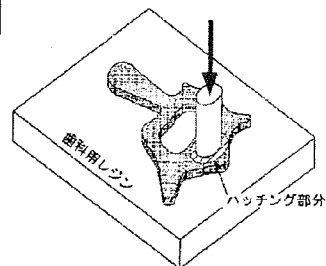
【図11】



【図13】



【図18】

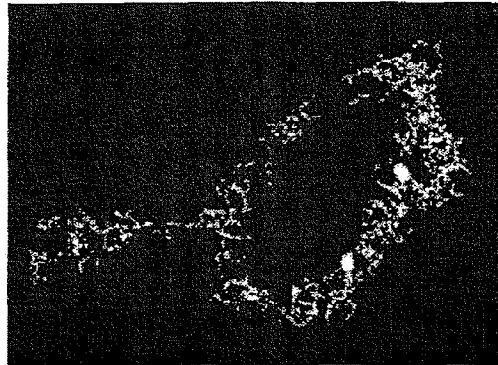




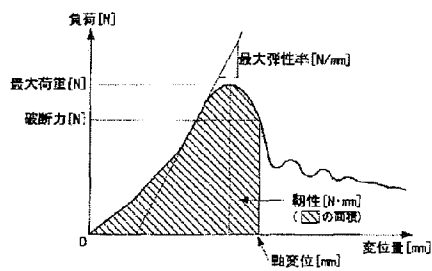
【図14】



【図15】



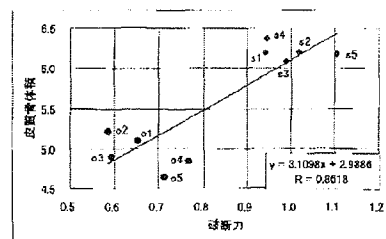
【図19】



【図20】

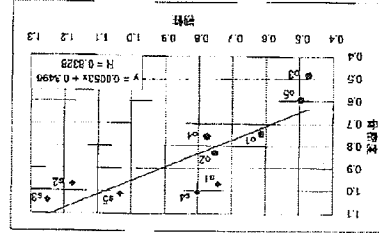
群	動物番号	破断力	最大荷重	軸変位	弾性	最大弾性力
Sham	s1	0.942	0.897	0.811	0.742	0.816
	s2	1.018	1.108	1.035	1.175	1.034
	s3	0.989	0.928	1.088	1.249	0.939
	s4	0.946	0.956	0.886	0.803	1.034
	s5	1.105	1.112	1.173	1.031	1.578
OVX	o1	0.852	0.601	0.932	0.614	0.588
	o2	0.587	0.545	1.518	0.752	0.381
	o3	0.583	0.589	0.784	0.473	0.707
	o4	0.766	0.764	1.000	0.775	0.979
	o5	0.713	0.671	0.827	0.487	0.707

【図22】

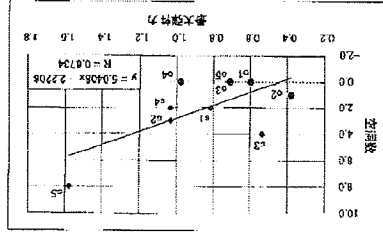


【図21】

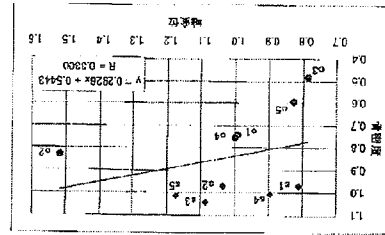
	破断力	最大荷重	軸変位	弾性	最大弾性力
皮膚骨密度	0.8618	0.8467	—	—	—
最大連結骨梁成分体積	—	—	0.5020	—	—
骨梁密度	—	—	—	0.8594	—
空隙数	—	—	—	—	0.6734
骨密度(BMD)	0.8330	0.7796	0.3300	0.8328	0.3694



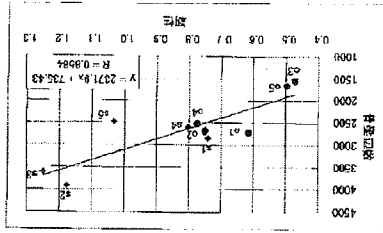
【図 29】



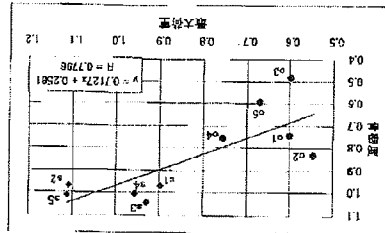
【図 30】



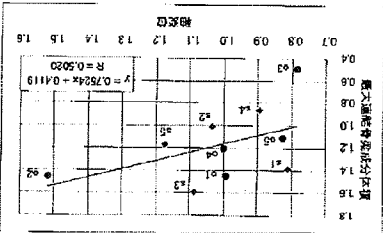
【図 27】



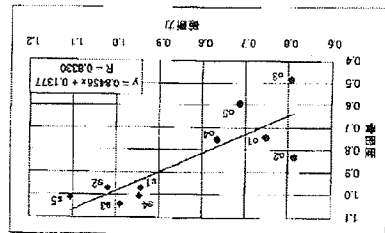
【図 28】



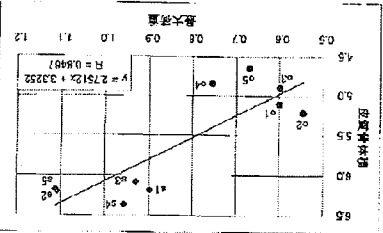
【図 25】



【図 26】

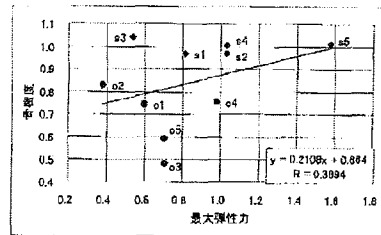


【図 23】



【図 24】

【図31】



フロントページの続き

(72)発明者 大城 理  
奈良県生駒市高山町8916番地の5 奈良先端科学技術大学院大学内

(72)発明者 千原 國宏  
奈良県生駒市高山町8916番地の5 奈良先端科学技術大学院大学内

Fターム(参考) 4C093 AA22 CA50 DA10 FF08 FF23